

# Projet SLS 2.0



Un upgrade  
d'importance stratégique

pour l'Institut Paul Scherrer

# SLS 2.0

## L'upgrade de la Source de Lumière Suisse SLS

La Source de Lumière Suisse SLS fournit depuis 2001 une lumière de type rayons X extrêmement brillante et concentrée. Les chercheurs l'utilisent pour analyser les structures les plus infimes, y compris à l'échelle de l'atome, et pour développer de nouveaux médicaments et de nouveaux matériaux. Afin de continuer à figurer dans le peloton de tête au niveau mondial, le PSI planifie une mise à jour de cette grande installation de recherche unique en Suisse, baptisée SLS 2.0.

Dans le bâtiment en forme d'ovni de la Source de Lumière Suisse SLS, des chercheurs du PSI et du monde entier mènent des recherches de pointe. Ils analysent par exemple les propriétés électroniques de matériaux innovants, déterminent la structure de certaines protéines importantes sur le plan médical et visualisent des nanostructures d'os humains. Après deux décennies d'exploitation, pendant lesquelles la SLS a constitué la référence au niveau international, l'installation doit être modernisée si l'on veut qu'elle reste à la hauteur des besoins des chercheurs.

Pour pouvoir analyser les plus petites structures, les chercheurs ont besoin d'une lumière de type rayons X avec une très courte longueur d'onde. Cette lumière est produite à la SLS à l'aide d'électrons, c'est-à-dire des particules élémentaires qui portent une charge négative. Un accélérateur de particules amène les électrons à une vitesse proche de celle de la lumière, puis ces derniers sont introduits dans un anneau de stockage d'une circonférence de presque 300 mètres, d'où la forme circulaire du bâtiment. Enfermés dans un tube à vide, lui-même protégé par d'épais murs de béton, les électrons poursuivent leur chemin dans l'anneau de stockage dont ils font le tour environ un million de fois par seconde.

Des aimants dirigent les particules sur la trajectoire circulaire. A chaque changement de direction, ces électrons émettent des rayons X et produisent qu'on appelle la lumière synchrotron. Cette dernière est concentrée jusqu'à ce qu'elle forme un faisceau de rayons X très intense qui arrive jusqu'aux stations expérimentales. Le projet d'upgrade SLS 2.0 prévoit

de rendre la lumière synchrotron encore plus brillante et de concentrer encore davantage les rayons X. Tout cela est rendu possible grâce à des technologies dernier cri, dont certaines ont été développées au PSI.

### Exploiter les synergies de manière optimale

Avec la SLS actuelle et le laser à rayons X SwissFEL mis en service en 2017, le PSI et la Suisse se sont hissés à une place prépondérante dans la recherche avec la lumière de type rayons X. L'upgrade prévu de la SLS permettra de consolider cette position. Comme elles offrent la possibilité de conduire des expériences différentes, les deux installations se complètent de manière idéale.

Le SwissFEL produit des impulsions lumineuses de rayons X ultra-courtes et extrêmement intenses. Les chercheurs les utilisent pour analyser des processus ultra-rapides qui se produisent dans les atomes et les molécules. Mais ces impulsions de rayons X sont si intenses qu'elles détruisent en un clin d'œil les échantillons étudiés. Des techniques de mesure permettent de composer avec ce problème: elles sont si rapides qu'elles captent de justesse l'état qui précède la destruction.

La SLS, en revanche, permet d'observer des échantillons sur un laps de temps plus long et en principe sans les détruire. Dans la plupart des expériences conduites à la SLS, on utilise un faisceau de rayons X continu; toutefois, là également, il est possible d'effectuer des mesures avec du rayonnement pulsé,



L'intérieur de l'anneau de stockage des électrons de la SLS avec les aimants actuels (en rouge), bien visibles.



mais ces impulsions sont nettement plus longues et moins intenses qu'au SwissFEL. Par ailleurs, à la SLS, les chercheurs peuvent travailler en même temps sur 20 stations de mesure, alors qu'au SwissFEL, seules deux à trois expériences parallèles sont possibles. Les potentialités des deux grandes installations de recherche sont donc complémentaires. Avec la SLS 2.0, les synergies entre le SwissFEL et la SLS seront encore étendues.

## Plus d'aimants pour des virages plus doux

De l'extérieur, la SLS ne changera guère d'aspect. A l'intérieur en revanche, l'anneau de stockage d'électrons sera complètement transformé. Car la qualité de la lumière synchrotron dépend largement des détails de la trajectoire des électrons dans l'anneau de stockage. Les aimants n'aiguillent pas les particules sur une trajectoire parfaitement circulaire. En réalité, les électrons suivent une trajectoire qui est celle d'un polygone avec de nombreux sommets. Or plus ce polygone a de sommets, plus la qualité du rayonnement synchrotron disponible pour la recherche est bonne. C'est pourquoi il est prévu d'intégrer nettement plus d'aimants dans la SLS 2.0 que dans l'installation actuelle. Ces derniers aiguillent les électrons sur une trajectoire «plus» circulaire avec des virages plus doux. Par ailleurs, le faisceau d'électrons circulera dans un tube de métal encore plus étroit qu'aujourd'hui. Ce qui suppose l'utilisation d'une nouvelle technologie du vide.

Les mesures prises dans le cadre de la modernisation de la SLS devraient permettre d'obtenir un rayonnement synchrotron qui arrive aux stations expérimentales avec des valeurs jusqu'à 40 fois supérieures à celles de la lumière actuelle. D'autres aménagements des lignes de faisceaux devraient améliorer sa brillance d'un facteur 1000 dans certains cas. En d'autres termes, le diamètre du faisceau va rétrécir: il sera encore plus fin tout en affichant la même intensité et restera parallèle sur une distance encore plus grande, ce qui signifie que même au bout de plusieurs mètres, il s'élargira à peine. Suivant l'expérience, la qualité des données s'en trouvera améliorée d'un facteur trois à un facteur 1000, voire davantage.

# Exemples d'applications

de la Source de Lumière Suisse SLS

Le recours à la lumière synchrotron permet d'élucider la structure des protéines, de visualiser les structures tissulaires les plus fines et de trouver des réponses à des questions de recherche fondamentale. Avec la SLS 2.0, il sera possible d'obtenir des connaissances encore plus approfondies et d'améliorer l'efficacité du travail des chercheurs.



La SLS permet de conduire une recherche ultramoderne. L'upgrade SLS 2.0 assurera un brillant avenir à cette grande installation de recherche.

## Médicaments sur mesure

La SLS permet aux chercheurs de décrypter la structure spatiale de biomolécules de grande taille impliquées dans toutes les fonctions vitales de notre organisme, comme certaines protéines ou notre patrimoine génétique (ADN). Pour mener ces analyses, les scientifiques doivent d'abord produire des cristaux de la molécule qu'ils veulent étudier. Lorsque la lumière de type rayons X atteint l'un de ces cristaux, on obtient un diagramme de diffraction qui permet de calculer la structure de la molécule en question. Les groupes de recherche actifs au PSI dans le domaine de la cristallographie des macro-

molécules figurent parmi ceux dont le taux de réussite est le plus élevé au monde. Ce sont eux, par exemple, qui ont fourni certaines données décisives grâce auxquelles la structure du ribosome a pu être élucidée. En 2009, cette recherche a été récompensée par le prix Nobel de chimie. Le ribosome est l'une des molécules les plus importantes parmi celles qu'abritent les cellules de tous les êtres vivants puisqu'il est responsable de la néoformation de protéines.

L'élucidation de la structure des protéines est importante aussi pour la médecine et l'industrie pharmaceutique, car nombre de maladies sont dues à des dysfonctionnements de ces biomolécules. Les

protéines membranaires, notamment, revêtent un intérêt particulier pour les chercheurs. Situées dans la membrane cellulaire, elles assurent le transport de substances chimiques et de signaux vers l'intérieur et vers l'extérieur de la cellule. Les principes actifs qui s'amarrent aux protéines membranaires sont susceptibles de combattre certaines maladies comme le cancer, certaines infections ou encore certaines inflammations. Deux tiers des nouveaux médicaments homologués ciblent des protéines membranaires afin d'induire par ce biais les modifications souhaitées dans l'organisme.

Plus une molécule de principe actif est ajustée à la poche de liaison d'une protéine membranaire, plus le médicament agit rapidement et de manière efficace. Mais la SLS actuelle a beau exceller dans la mise en lumière de beaucoup d'autres structures de protéines – et donc dans sa capacité à fournir les informations nécessaires aux développeurs de produits pharmaceutiques – elle rencontre encore beaucoup de difficultés avec certaines protéines membranaires. Car il est notoire que ces dernières ne forment que de minuscules cristaux de protéines d'environ un dixième de millier de millimètre de côté, voire moins. Or pour pouvoir analyser efficacement ces cristaux, il faut un faisceau de rayons X intense et suffisamment fin qui reste parallèle. C'est précisément ce qui est prévu avec l'upgrade qui rendra la lumière de type rayons X encore plus brillante et plus «propre».

## Images en 3D de détails minuscules

De la même manière qu'un scan CT d'hôpital, la SLS permet de réaliser des prises de vue en trois dimensions de l'intérieur d'objets sans les découper. Mais alors que le diamètre des plus petits détails sur les radiographies médicales atteint un demi-millimètre, la station de mesure à la SLS offre une résolution 1000 fois meilleure c'est-à-dire moins d'un micromètre. Cela permet par exemple d'étudier les minuscules transformations de la structure du tissu cérébral qui pourraient être liées à l'apparition de maladies comme Alzheimer, Creutzfeldt-Jakob ou encore la sclérose latérale amyotrophique (SLA).

Il est même possible de réaliser des images en trois dimensions d'objets en mouvement. En 2014, un film qui présentait l'intérieur d'insectes en plein vol

a fait sensation. En matière d'images à résolution temporelle pour les dimensions de cette ordre de grandeur, la SLS détient un record du monde avec plusieurs centaines de tomographies par seconde. La SLS 2.0 devrait permettre de réaliser des radiographies encore plus rapides et plus précises, de manière à pouvoir visualiser les objets en mouvement au nanomètre près. Cela rendra possible l'avènement de nouvelles expériences et de nouvelles connaissances, par exemple dans le domaine de la recherche énergétique en visualisant l'intérieur d'une pile à combustible en exploitation.

Aujourd'hui déjà, d'autres procédés d'imagerie permettent aux chercheurs de zoomer à l'intérieur d'objets d'une taille de quelques micromètres ou de quelques millimètres, avec une résolution de quelques nanomètres. Cette méthode qui se passe de lentille produit des centaines de clichés de diffraction d'un échantillon. Un algorithme reconstitue l'objet à partir de ces clichés superposés. C'est au PSI que l'on a démontré pour la première fois, en 2007, que cette méthode fonctionnait avec des rayons X. Et pour ce qui est de faire évoluer le procédé, les chercheurs à Villigen sont à la pointe au niveau mondial. La méthode permet par exemple d'étudier des processeurs informatiques jusque dans les moindres détails. Mais elle se prête aussi à l'analyse d'échantillons biologiques, par exemple de tissu cérébral pour la recherche, entre autres sur la maladie de Parkinson. Elle permet également de se pencher sur les processus de dégradation liés à l'âge qui affectent les vaisseaux sanguins et peuvent entraîner de dangereuses fissures dans la paroi de ces derniers. Dans le cas du diabète, les chercheurs ont pu observer par ce biais l'impact de la maladie sur le tissu conjonctif. Avec la SLS 2.0, ce procédé bénéficiera d'une résolution encore plus élevée et sa rapidité sera améliorée de plusieurs ordres de grandeur.

## Matériaux exotiques pour l'électronique du futur

La SLS permet de visualiser l'intérieur de matériaux et d'observer les flux d'électrons, autrement dit de mener par exemple des expériences sur un «transistor vivant». C'est de cette manière que des chercheurs du PSI ont réussi à montrer comment amé-

liorer un élément de construction en nitrure de gallium déjà utilisé dans les smartphones. Mais ils étudient aussi des matériaux exotiques dotés de propriétés complètement novatrices. La compréhension de ces phénomènes physiques fondamentaux devrait notamment contribuer au développement de meilleurs matériaux pour l'électronique et la technologie informatique. L'objectif est qu'à l'avenir aussi, le stockage et la transmission de données continuent d'être toujours plus denses et plus rapides, tout en diminuant la consommation d'énergie des composants électroniques.

Dans le cas d'un cristal bien particulier composé d'atomes d'aluminium et de platine, des chercheurs du PSI ont réussi à montrer que ce matériau présentait des propriétés électroniques encore jamais observées jusque-là. Ces mêmes propriétés présentaient par ailleurs des différences à l'intérieur du cristal et à sa surface. De ce fait, l'échantillon examiné était ce qu'on appelle un matériau topologique susceptibles de convenir pour la construction d'ordinateurs quantiques rapides. Les composants qui associent des atomes de certains métaux avec de l'oxygène – appelés oxydes métalliques de transition – sont intéressants également. Certains d'entre eux sont de bons candidats pour des transistors particulièrement fiables ou pour des semi-conducteurs qui conduisent le courant sans perte au-dessous d'un certain seuil de température.

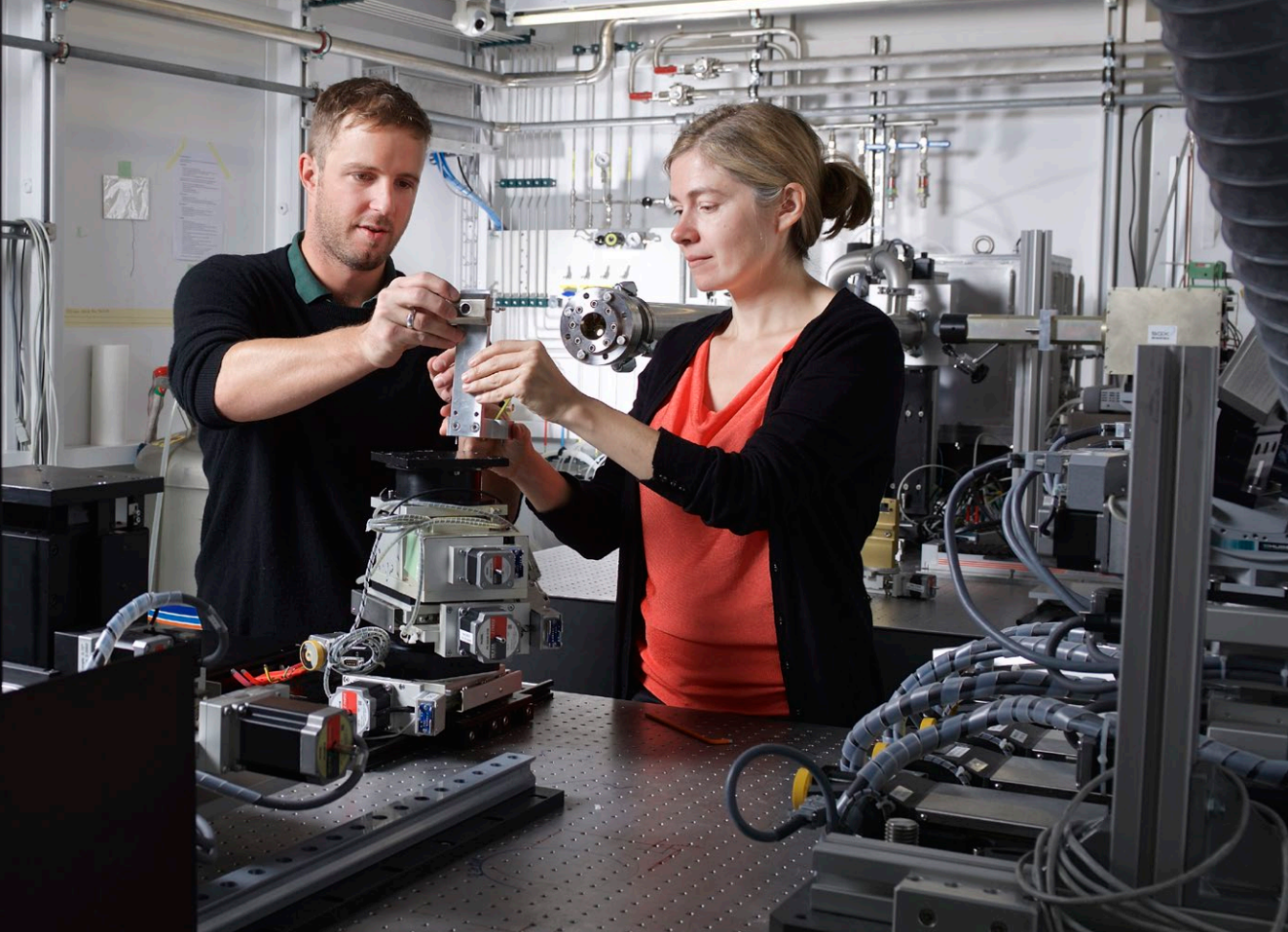
En matière d'analyse de nouveaux matériaux, les chercheurs du PSI figurent parmi les pionniers dans l'utilisation d'une méthode moderne qui évolue actuellement à toute vitesse: la diffusion inélastique résonnante de rayons X (Resonant Inelastic X-ray scattering, RIXS). Cette méthode consiste à utiliser des rayons X pour exciter les transitions entre différents états électroniques dans les échantillons de matériaux. Ces transitions nous renseignent sur certains processus importants qui sont à l'origine, par exemple, de la supraconductivité ou du magnétisme. La RIXS et les autres méthodes d'analyse de matériaux profiteront largement de l'upgrade de la SLS. Comme le faisceau d'électrons dans l'anneau de stockage présente une expansion horizontale moindre et peut être mieux dirigé, il devient possible de construire les lignes de faisceaux avec une résolution énergétique extrêmement élevée qui augmenteront la sensibilité de ce genre de méthodes.

Les chercheurs utilisent notamment la lumière de type rayons X de la SLS pour étudier des catalyseurs: des matériaux qui accélèrent ou déclenchent certaines réactions chimiques.

## Catalyseurs plus efficaces

Les catalyseurs jouent un rôle important dans le développement de solutions technologiques pour l'avenir énergétique, par exemple pour le stockage de l'énergie solaire sous forme d'hydrogène. Le principe: utiliser du courant d'origine solaire pour scinder l'eau en hydrogène et en oxygène dans ce qu'on appelle un électrolyseur. Les chercheurs du PSI obtiennent régulièrement des succès notables dans le développement de nouveaux catalyseurs. La SLS est particulièrement adaptée à l'analyse des processus catalytiques. La haute énergie des rayons X permet de radiographier le réacteur dans le catalyseur en conditions réelles.

Les analyses menées à la SLS ont ainsi permis à un groupe de chercheurs de mettre en évidence à quoi devrait ressembler la structure d'un nouveau nanomatériau pour activer sa capacité catalytique. Au terme de trois ans de recherches et de nombreuses études menées à la SLS, ils ont réussi à développer un nanomatériau qui accélère efficacement la scission des molécules d'eau tout en étant mille fois moins cher qu'un matériau comparable.



L'upgrade de la SLS permettra d'appliquer une nouvelle technique d'analyse qui fournit des informations supplémentaires sur la structure géométrique du matériau. Par ailleurs, les chercheurs pourront mener plus rapidement leurs mesures. De toutes ces nouveautés, ils espèrent l'avènement d'autres développements importants.

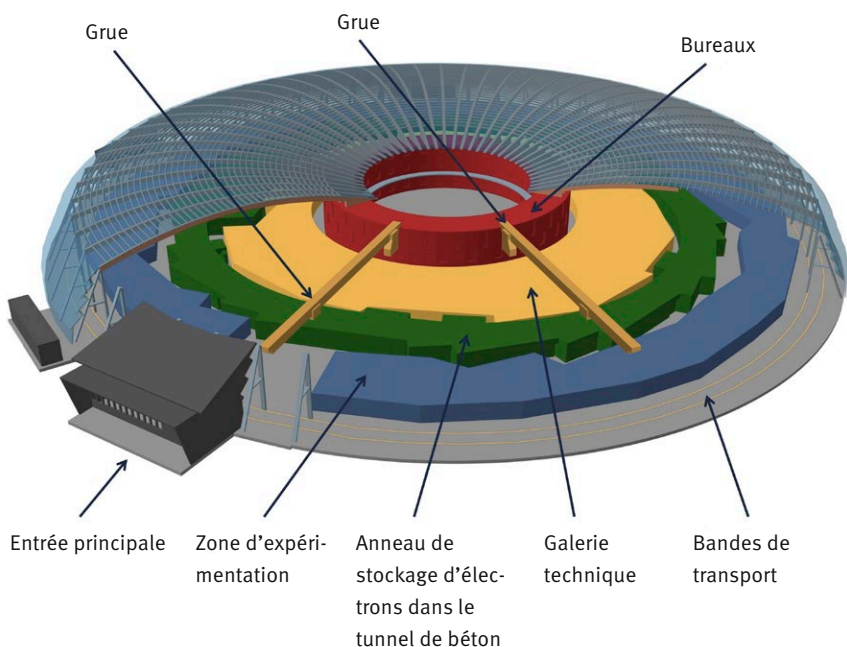
## Améliorer des procédés modernes de fabrication

Les expériences menées à la SLS contribuent aussi à l'amélioration de certains procédés de fabrication industriels, comme l'impression en trois dimensions de pièces métalliques au moyen de la fusion sélective par laser. Cette méthode de fabrication dite additive consiste à appliquer progressivement des couches de poudre métallique et à les fusionner de façon sélective conformément à un modèle informatique en 3D. Ce procédé, considéré comme particulièrement prometteur, se prête avant tout à la réalisation de prototypes, d'instruments et de composants aux géométries extrêmement complexes.

En dépit d'importants progrès au cours des dernières années, on ignore toujours quel sera l'impact des nombreux paramètres de cette méthode sur la microstructure définitive et donc sur les propriétés du matériau. Des chercheurs au PSI ont développé un appareillage qui permet de suivre en direct le processus d'impression. Ils ont construit une mini-installation de fusion sélective par laser et l'ont placée dans l'une des stations expérimentales de la SLS. Comme les rayons X permettent de déterminer simultanément les propriétés structurales et chimiques, les chercheurs ont réussi à observer ce qui se passait pendant l'impression en trois dimensions d'un alliage de titane et d'aluminium.

Cette recherche pertinente pour l'industrie profitera tout particulièrement de l'upgrade de la SLS. Car cette modernisation entraînera une amélioration de plusieurs ordres de grandeur au niveau de la résolution spatiale et temporelle des processus observables. Le progrès technique permettra aux chercheurs de procéder à des mesures beaucoup plus rapides ou beaucoup plus précises. Grâce aux rayons X plus riches en énergie, ils pourront scruter encore davantage les profondeurs des matériaux.

# Aménagement planifié et fonctionnement



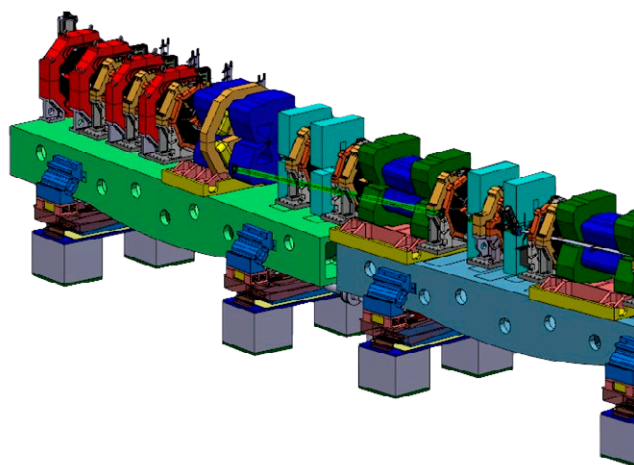
Le bâtiment en forme d'ovni avec l'entrée principale (gris foncé) et les bureaux (en rouge) reste inchangé.

La modernisation implique des transformations au niveau de la galerie technique (en jaune) et de la zone d'expérimentation (en bleu). Les lignes de faisceaux dans la zone d'expérimentation devront être démontées pendant la rénovation, puis seront remontées de manière légèrement décalées pour certaines. Une deuxième grue (en ocre) devrait venir s'ajouter pour permettre des montages plus rapides.

L'anneau de stockage d'électrons dans le tunnel de l'accélérateur (en vert) sera complètement rénové.

Le bâtiment circulaire de la Source de Lumière Suisse SLS restera inchangé. La modernisation de l'installation implique le réaménagement de l'anneau de stockage d'une circonférence de presque 300 mètres situé à l'intérieur du tunnel de béton qui occupe le milieu du bâtiment. Si cela ne tenait qu'à eux, ces électrons suivraient une trajectoire rectiligne, mais les aimants situés à l'intérieur de l'anneau de stockage contraignent ces particules ultra-rapides à suivre une trajectoire circulaire. Et chaque changement de direction induit par ces aimants fait que les électrons émettent de la lumière: la fameuse lumière synchrotron. Lors des travaux, les aimants qui se trouvent actuellement à l'intérieur de l'anneau de stockage seront remplacés par une nouvelle configuration d'aimants novateurs plus petits qui permettront d'aiguiller les électrons sur une trajectoire «plus» circulaire avec des virages plus doux. Cela permettra de générer un rayonnement plus brillant. En tout, ce sont 1007 aimants qui seront installés dans l'anneau de stockage de la SLS 2.0. Pour que les aimants puissent être plus proches des électrons,

le tube métallique dans lequel les particules circulent sera remplacé par un nouveau tube plus étroit dont le diamètre intérieur n'excédera pas deux centimètres.





Ce diamètre plus étroit nécessite une nouvelle technologie du vide, car les pompes actuelles ne permettent pas d'obtenir un vide de qualité suffisante; ce phénomène, toute personne qui a déjà bu avec une paille l'a expérimenté: plus la paille est étroite, plus il faut aspirer fort. Pour résoudre le problème, la surface interne du nouveau tube sera dotée d'un revêtement spécial qui absorbera durablement les atomes de gaz – de la même manière qu'une éponge absorbe l'eau – et améliorera ainsi la qualité du vide de manière décisive. Ce «non-évaporable getter coating» affiche une épaisseur de 0,5 micron seulement pour une durée de vie de 20 ans.

La SLS actuelle est une source synchrotron de troisième génération. La SLS 2.0 avec sa nouvelle configuration d'aimants sera une installation de quatrième génération et figurera donc parmi les plus récentes du genre, appelées Diffraction Limited Storage Rings (DLSR) ou anneaux d'ultra-faible émittance. L'anneau de stockage du PSI est petit comparés à leurs équivalents au niveau international, mais grâce à certaines technologies novatrices, la SLS 2.0 sera aussi puissante que les autres synchrotrons DLSR qui sont actuellement mis en service dans le monde entier.

L'anneau de stockage de la SLS 2.0 comprendra douze parties comme celles-ci. Les aimants sont montés sur des supports portés par des socles en béton pour obtenir une stabilité maximale.

#### **Aimants bleus: aimants de déflexion**

Des aimants dipolaires dévient les électrons pour qu'ils adoptent une trajectoire circulaire au lieu d'une trajectoire rectiligne. La nouveauté: ces aimants permanents ultrapuissants seront en néodyme, fer et bore, et plus compacts que les électroaimants actuels.

#### **Aimant monté sur socle violet: aimant supraconducteur**

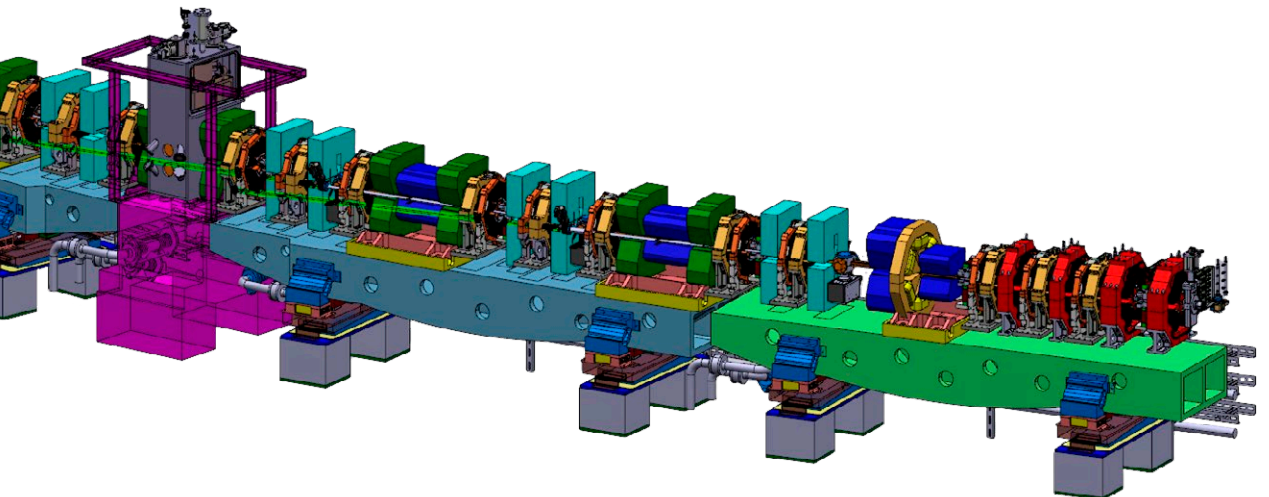
Un aimant de déflexion sur sept sera composé d'un matériau supraconducteur qui génère un champ magnétique plus puissant et donc des rayons X plus durs, susceptibles de pénétrer plus profondément dans les échantillons. Les aimants supraconducteurs doivent être refroidis à  $-268,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### **Aimants couleur rouge: aimants quadripolaires**

Les aimants à quatre pôles concentrent le faisceau d'électrons. Pour économiser de la place, beaucoup de ces aimants seront aussi des aimants permanents.

#### **Aimants couleur turquoise: aimants de déflexion vers l'extérieur**

Ces aimants contribuent à augmenter la brillance de la lumière synchrotron. Cette technologie a été développée au PSI.



# Repousser les limites actuelles du possible

Au cours des 16 dernières années (entre 2004 et 2019), la SLS a enregistré plus de 47 000 visites de 23 661 visiteurs venus du monde entier. Quelque 11 000 demandes de recherche ont été déposées pendant cette période. Pour la recherche en Suisse, cette grande installation fiable représente une ressource extrêmement précieuse, par exemple dans le domaine de la biologie structurale où travaille le groupe emmené par Nenad Ban, spécialiste réputé de biologie moléculaire à l'ETH Zurich. Son équipe étudie la structure et la fonction de certaines molécules biologiques, notamment pour comprendre les processus qui nous permettent de rester en bonne santé ou qui nous rendent malades.

Nenad Ban se réjouit de cet upgrade qui permettra de renforcer encore la brillance des rayons X. Pour ce chercheur, l'aspect le plus important réside dans le fait que le faisceau sera encore plus concentré et parallèle. Car il existe de nombreuses molécules biologiques difficilement saisissables qui continuent aujourd'hui à résister à l'analyse. Il est pratiquement impossible de cultiver à partir de ces échantillons des cristaux d'une taille suffisante pour que l'on puisse déterminer leur structure avec la cristallographie aux rayons X actuelle.

---

«Nous profiterons de cet upgrade, tout comme les chercheurs actifs dans le domaine de la biologie structurale qui viendront du monde entier à la SLS 2.0 pour collecter des données.»

**Prof. Nenad Ban, Institut de biologie moléculaire et de biophysique, ETH Zurich**

Les nouvelles propriétés des rayons X dans les stations expérimentales de la SLS 2.0 permettront d'étudier des cristaux beaucoup plus petits qu'aujourd'hui. Cela représente un grand progrès non seulement pour la recherche fondamentale, mais aussi pour les sociétés pharmaceutiques. Aujourd'hui



déjà, l'industrie est directement impliquée dans la SLS. Une ligne de faisceau a ainsi été financée pour une moitié par Novartis et Hoffmann-La Roche, et pour l'autre moitié par la Société Max-Planck (Allemagne). Une autre ligne de faisceau a été réalisée conjointement par le PSI et une société pharmaceutique étrangère. A la SLS 2.0, l'objectif des chercheurs de Novartis est non seulement d'élucider la structure de cristaux toujours plus petits, mais aussi de recourir à ce qu'on appelle la cristallographie sérielle. Cette technique consiste à combiner des mesures de plusieurs minuscules cristaux pour former un ensemble de données. Grâce à l'upgrade, la SLS restera à l'avenir également un instrument indispensable dans le domaine des applications industrielles.

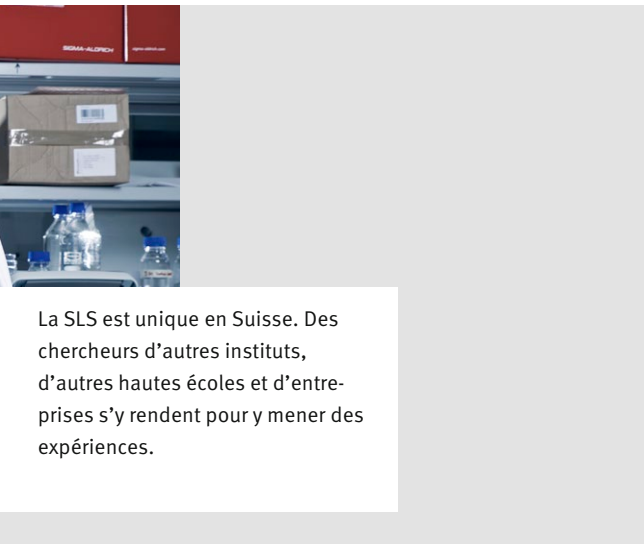
---

«L'upgrade prévu contribuera à repousser largement les limites actuelles du possible.»

**Dr Trixie Wagner, cheffe de groupe, Novartis Institutes for Biomedical Research (NIBR)**

Fabia Gozzo a fondé en 2012 la start-up Excelsus, qui a son siège dans le Park Innovaare à côté du PSI.

Excelsus a conclu avec le PSI un accord d'exploitation commerciale d'une ligne de faisceau de la SLS, où Fabia Gozzo et ses collaborateurs contrôlent la qualité des médicaments, d'aliments et de produits chimiques sur mandats de clients de l'industrie. La



La SLS est unique en Suisse. Des chercheurs d'autres instituts, d'autres hautes écoles et d'entreprises s'y rendent pour y mener des expériences.

méthode qu'ils utilisent, appelée diffraction de poudre, est très rapide et elle le sera encore davantage après l'upgrade. Mais pour certaines analyses, il faut des rayons X particulièrement riches en énergie que l'on ne peut pas produire actuellement à la SLS. Fabia Gozzo doit donc se tourner vers d'autres installations en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis, ce qui s'avère coûteux et chronophage. Après l'upgrade, cela ne devrait plus être nécessaire, car la SLS 2.0 fournira aussi des rayons X dits durs, c'est-à-dire plus riches en énergie.

---

«Grâce à l'upgrade nous allons disposer de rayons X de plus haute énergie, ce qui nous permettra de concentrer toutes nos activités sur la SLS et d'utiliser les autres installations uniquement comme solutions de sauvegarde.»

**Dr Fabia Gozzo, CEO, Excelsus Structural Solutions**

De nombreux chercheurs invités font régulièrement le déplacement depuis l'étranger pour réaliser des mesures à la SLS. A l'instar de Marianne Liebi, de la

Chalmers University of Technology en Suède. Cette chercheuse effectue ses mesures surtout à la SLS, car c'est là qu'elle trouve les meilleures conditions. Elle analyse par exemple des fibres de collagène dans les os et recourt à la technique des rayons X pour scruter leur organisation à l'échelle du nanomètre. La chercheuse attend de la SLS 2.0 qu'elle lui fournisse une résolution encore meilleure en termes de technique d'imagerie. Mais aussi des mesures nettement plus rapides.

---

«Après l'upgrade, nous pourrons mesurer plus d'échantillons en même temps. Or cet aspect constitue actuellement l'un des facteurs limitants lors de nos analyses.»

**Prof. Marianne Liebi, Chalmers University of Technology, Göteborg, Suède**

L'upgrade de la SLS est décisif pour consolider la position du PSI au niveau international, en dépit ou plutôt à cause de la disponibilité du laser à rayons X SwissFEL achevé en 2016. Majed Chergui de l'EPFL conduit dans cette grande installation des expériences qui permettent de montrer comment fonctionne l'échange de charges électriques dans le corps humain et comment améliorer l'efficacité des cellules solaires. Les impulsions lumineuses de rayons X du SwissFEL révèlent certains processus ultrarapides. Mais sans tests préalables avec une source de rayonnement synchrotron comme la SLS, réaliser ces mesures n'a guère de sens. Cela peut même s'avérer impossible. Par ailleurs, la SLS permet un suivi sur des laps de temps un peu plus longs – même s'ils restent extrêmement brefs –, ce à quoi le SwissFEL ne se prête pas.

---

«Parallèlement aux expériences réalisées au SwissFEL, nous pourrons aussi effectuer à l'avenir des mesures à la SLS. Ces deux installations sur le site sont importantes et se complètent de manière optimale.»

**Prof. Majed Chergui, Laboratoire de spectroscopie ultrarapide (LSU), EPFL**

# Données techniques de la SLS 2.0

**Périmètre de l'anneau de stockage:**

288 mètres (comme aujourd'hui)

**Nombre d'aimants:**

1007 (388 aujourd'hui)

**Diamètre intérieur du tube faisceau:**

18 millimètres (64 x 32 millimètres aujourd'hui)

**Energie électronique:**

2,7 gigaélectronvolts (2,41 gigaélectronvolts aujourd'hui)

**Energie photonique maximale:**

80 kiloélectronvolts (45 électronvolts aujourd'hui)

**Qualité du rayonnement:**

Jusqu'à 40 fois meilleure qu'aujourd'hui.

Brillance jusqu'à 1000 fois plus élevée dans certaines lignes de faisceaux.

**Durée de mesure et qualité des données:**

Suivant l'expérience, des mesures plus rapides et une qualité 3 à plus de 1000 fois meilleure qu'aujourd'hui.

**Temps exploitable pour les expériences:**

Environ 220 jours par année avec une exploitation 24h/24 (comme aujourd'hui)

**Phase de planification de la SLS 2.0:**

de 2017 à 2020

**Travaux:**

Entre 2021 et 2024, achat et préparation des nouveaux composants.

Ensuite, arrêt, démontage et enfin reconstruction de l'anneau de stockage.

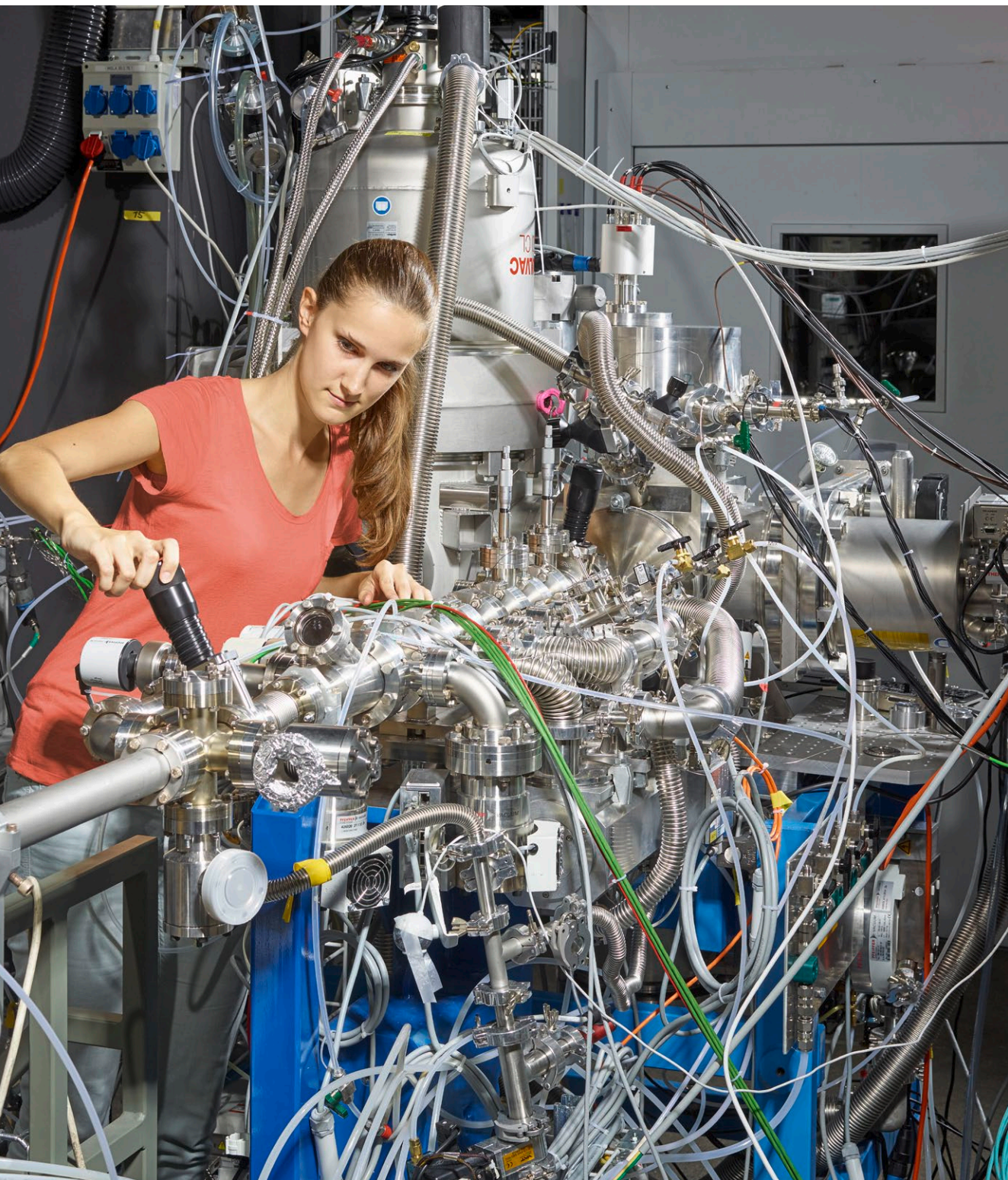
Mise hors service de la SLS pour une durée aussi brève que possible.

La nouvelle mise en service devrait avoir lieu en 2024.

**Coûts:**

Environ 167 millions de francs en tout. Une demande de 98,7 millions de francs a été déposée auprès de la Confédération. Le PSI estime à 17 millions de francs les coûts de matériel et des services, et à 51 millions de francs les coûts salariaux pendant la planification et les travaux.





Vue aérienne de l'Institut Paul Scherrer PSI.  
Le bâtiment circulaire situé à l'arrière est  
la Source de Lumière Suisse SLS.



# Le PSI en bref

L'Institut Paul Scherrer PSI est un institut de recherche pour les sciences naturelles et les sciences de l'ingénieur. Au PSI nous faisons de la recherche de pointe dans les domaines des technologies d'avenir, énergie et climat, innovation santé ainsi que fondements de la nature. Nous associons recherche fondamentale et recherche appliquée pour élaborer des solutions durables répondant à des questions centrales de la société, de la science et de l'économie. Le PSI développe, construit et exploite des grandes installations de recherche complexes. Chaque année, nous accueillons plus de 2500 chercheurs invités venant de Suisse, mais aussi du monde entier. Tout comme les scientifiques du PSI, ils effectuent sur nos installations uniques des expériences qu'ils ne pourraient effectuer nulle part ailleurs. La formation des générations futures est un souci central du PSI. Pour cette raison, environ un quart de nos collaborateurs sont des postdocs, des doctorants ou des apprentis. Au total, le PSI emploie 2200 personnes, étant ainsi le plus grand institut de recherche de Suisse.

## Impressum

### Conception/rédaction

Institut Paul Scherrer

### Photos

Toutes les photos:

Markus Fischer, PSI

Sauf

Photo de couverture: H. R. Bramaz

page 13: Scanderbeg Sauer

Photography

### Conception graphique et mise en page

Monika Blétry, PSI

### Impression

Institut Paul Scherrer

### Disponible auprès de

Institut Paul Scherrer

Events et marketing

5232 Villigen PSI, Suisse

Téléphone +41 56 310 21 11

Villigen PSI, octobre 2020

## Renseignements

### complémentaires sur la SLS 2.0

#### Chef du projet SLS 2.0

Dr. Hans-Heinrich Braun

Tél. +41 56 310 32 41

[hans.braun@psi.ch](mailto:hans.braun@psi.ch)

#### Coordinateur scientifique et responsable du programme scientifique pour le projet

Prof. Dr. Philip Willmott

Tél. +41 56 310 51 26

[philip.willmott@psi.ch](mailto:philip.willmott@psi.ch)

#### Chef du projet Accélérateurs

Dr. Terence Garvey

Tél. +41 56 310 46 37

[terence.garvey@psi.ch](mailto:terence.garvey@psi.ch)

#### Chef du département Communication

Dr. Mirjam van Daalen

Tel. +41 56 310 56 74

[mirjam.vandaalen@psi.ch](mailto:mirjam.vandaalen@psi.ch)

Paul Scherrer Institut :: 5232 Villigen PSI :: Suisse :: Tél. +41 56 310 21 11 :: [www.psi.ch](http://www.psi.ch)

